

Bericht aus dem
Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung
der Technischen Hochschule Braunschweig



"Ermittlung des Einflusses der Querschnitts-
größe von ummantelten Stahlträgern auf das
Ergebnis von Brandversuchen"

o.Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen
Dr.-Ing. H.-J. Wierig

N o v e m b e r 1958

Die Arbeiten wurden durchgeführt im Auftrage des
Bundesministeriums für Wohnungsbau
Az. Nr. II/5 - 6073 Nr. 70

DK 699.81 · 001.5

1. Allgemeines

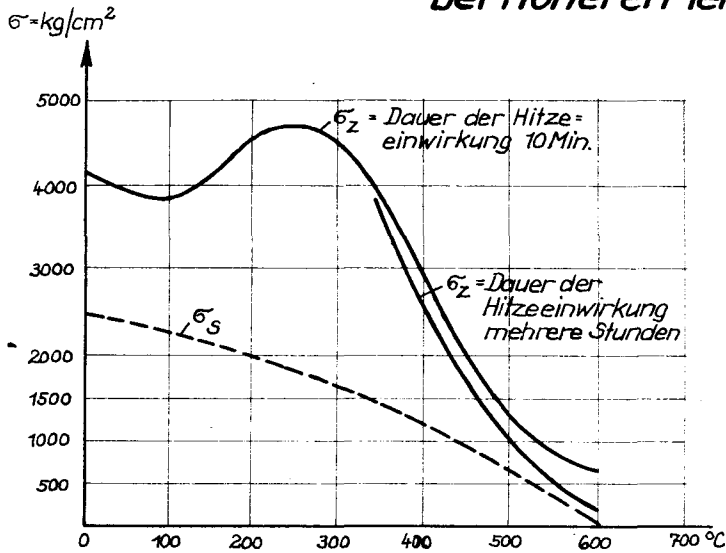
Die Widerstandsfähigkeit von Stahlbauteilen bei Beanspruchung durch Feuer und Wärme ist von der Erwärmung des Stahles während des Brandes abhängig. In Abb. 1 sind Festigkeit, Streckgrenze, Wärmeausdehnungskoeffizient und E-Modul von St. 37 in Abhängigkeit von der Erwärmung aufgetragen. Aus dieser Abb. geht hervor, daß die Festigkeit, Streckgrenze und E-Modul mit zunehmender Temperatur stark abfallen. In DIN 4102 "Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme" ist deshalb für alle Begriffe (feuerhemmend, feuerbeständig und hochfeuerbeständig) festgelegt, daß sich ummantelte Bauteile aus Stahl während des Brandversuches nicht über 250°C, Säulen nicht über 350°C, erwärmen dürfen.

Die Isolierwirkung einer Feuerschutz-Ummantelung ist sowohl von dem Isolierstoff als auch von der Dicke der Isolierung abhängig. Bei den in letzter Zeit geprüften neuen Isoliermaterialien, wie z.B. Vermiculite-, Perlite- und Mineralfaserputzen trat nun besonders die Frage auf, ob außer den Eigenschaften des Isolierstoffes auch die Abmessungen des ummantelten Stahlprofiles auf die Erwärmungsgeschwindigkeit des Stahls von Einfluß sind, ob also z.B. ein Stahlträger I 14 sich ebenso schnell wie ein Träger I P 22 erwärmt, wenn Isoliermaterial und Dicke der Isolierung gleich sind. Zur Klärung dieser Frage wurden Brandversuche an ummantelten Stahlträgern verschiedener Profile in der feuertechnischen Abteilung des Instituts für Baustoffkunde und Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig durchgeführt.

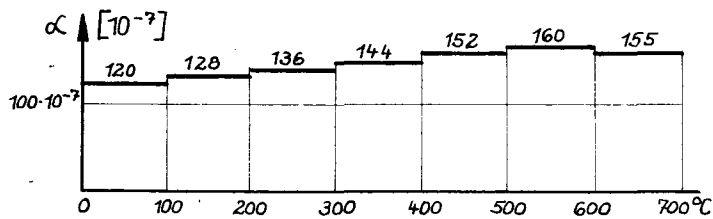
2. Beschreibung der Versuchsträger

Das Versuchsprogramm sah die Prüfung von fünf Trägern vor, von denen drei mit einem Isolierputz aus Gips-Sand-Mörtel und zwei mit einem Vermiculite-Putz ummantelt wurden. Die Stahlprofile der Träger sowie die Isolierputze sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

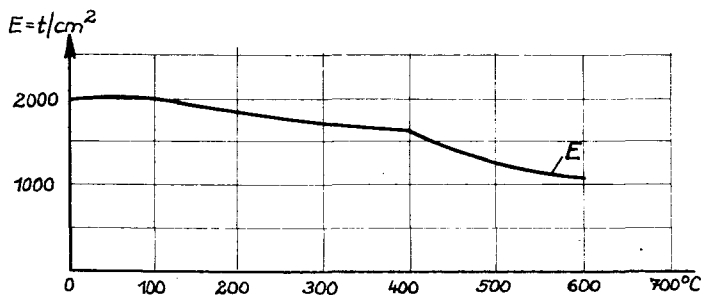
Abb.1 Materialeigenschaften von St.37 bei höheren Temperaturen *)



σ_z = Zugfestigkeit
 σ_s = Streckgrenze



Wärmeausdehnungskoeffizient α



Elastizitätsmodul E

*) „Feuersicherheit der Stahlkonstruktionen“ I Teil
 von E. Geilinger und C.F. Kollbrunner,
 Verlag Leemann, Zürich 1950

Zahlentafel 1

Übersicht über die Versuchsträger

Versuchs- träger Nr.	Profil	Träger- länge m	Isolierputz	mittlere Putzdicke cm *)
1	I 14	2,90	Gips-Sand-Putz	1,5
2	I 24	4,20	mit	1,5
3	IP 22	4,20	Glasseidezusatz	1,5
4	I 14	2,90	Vermiculite-	2,5
5	I 24	4,20	Fertigmörtelputz	2,5

*) gemessen über dem Putzträger

Als Putzträger für die Isolierputze wurde handelsübliches, mit Bindedraht befestigtes Rippenstreckmetall verwendet.

Das Mischungsverhältnis des Gips-Sand-Putzes betrug 2 : 1 Rtl. mit einem Zusatz von 0,4 % Stapelglasseide (bezogen auf das Gipsgewicht).

An jedem Versuchsträger waren vier Thermoelemente aus Cu.-Konst. an folgenden Stellen angebracht:

Meßstelle 1: Unterflansch in Feldmitte

Meßstelle 2: Oberflansch in Feldmitte

Meßstelle 3 und 4: Mitte Steg etwa 70 cm beiderseits der Feldmitte.

Um eine unterschiedliche Dehnung von Stahl-Träger- und Isolierputz-Ummantelung während des Brandversuches zu verhindern, wurden an den Enden der Stahlträger am Ober- und Unterflansch kleine Winkel angeschraubt (s. Anlage 1).

In Zahlentafel 2 sind Alter, Raumgewicht und Feuchtigkeitsgehalt der Isolierputze vor Beginn der Brandversuche zusammengestellt.

Zahlentafel 2

Eigenschaften der Isolierputze vor
Beginn der Brandversuche

Ver- suchs- träger Nr.	Putzart	Alter des Isolier- putzes	Feuchtig- keitsgehalt Gew.-%	Raum- gewicht in kg/m ³
1	Gips-Sand	11 Monate	9,0	1350 *)
2	" "	13 Monate	8,5	
3	" "	8 Monate	8,8	
4	Vermiculite	3 Monate	13,0	600 **)
5	"	13 Monate	5,0	

*) Ermittelt durch Trocknung bei 55°C bis zur Gewichtskonstanz
**) Ermittelt durch Trocknung bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz

3. Beschreibung der Versuchseinrichtung

Für die Brandversuche wurden die Träger so in Brandkammern eingebaut, daß die Flammen sie vollständig umgeben konnten. Während der Brandversuche wurden die Versuchsträger durch eine Einzellast in Feldmitte belastet. Wegen des großen Widerstandsmomentes der Träger I 24 und I P 22 war es nicht möglich, die Versuchsträger unter der vollen rechnerisch zulässigen Last zu prüfen; es wurde nur eine Teilbelastung aufgebracht. Diese Abweichung von der DIN 4102 hat nichts zu bedeuten, da nur die Erwärmung der Träger während des Brandes nicht aber die Tragfähigkeit untersucht werden sollte.

Die rechnerisch ermittelten Randspannungen in den Trägern unter der Versuchslast während der Brandversuche sind in Zahlentafel 3 zusammengestellt.

Zahlentafel 3

Randspannung in den Versuchsträgern
bei den Brandversuchen

Versuchs- träger Nr.	Profil	Spannweite m	Belastung in Feld- mitte kg	Rand- spannung kg/cm ²
1	I 14	2,70	1700	1400
2	I 24	3,90	1000	290
3	IP 22	3,90	1000	140
4	I 14	2,70	1700	1400
5	I 24	3,90	1000	290

Über den Versuchsträgern waren die Brandkammern durch Platten abgedeckt. Die Temperaturmessung in den Brandkammern erfolgte mit Thermoelementen, die in etwa 15 cm Abstand von den Versuchsträgern angebracht waren, die Beheizung der Brandhäuser mit Ölbrennern. Die Versuchseinrichtung ist in Anlage 2 dargestellt.

4. Meßergebnisse und Beobachtungen

Die während der Brandversuche gemessenen Temperaturen sind in den Zahlentafeln 4 bis 8 zusammengestellt und in den Anlagen 3 bis 7 graphisch aufgetragen. Da sich beim ersten Brandversuch zeigte, daß der Zusammenbruch des Trägers bei etwa 550^oC eintrat, wurden die übrigen Versuche abgebrochen, wenn die maximale Temperatur am Stahl etwa 500^oC betrug.

Zahlentafel 4

Meßergebnisse am Versuchsträger Nr. 1
Außenlufttemperatur: 20^oC

Versuchs- dauer in Min.	Mittlere Temperatur in der Brandkammer	Temperatur am Versuchsträger				
		M e ß s t e l l e				Mittel
		1	2	3	4	
0	-	-	-	-	-	-
5	495	-	-	-	-	-
10	575	69	92	69	84	78
15	766	95	96	93	99	96
20	804	96	96	96	98	96
25	872	95	95	97	101	96
30	884	112	100	112	118	110
40	895	230	169	254	249	225
50	955	338	246	392	380	339
60	988	397	294	461	455	402
65	-	Versagen des Trägers durch Kippen				

Zahlentafel 5

Meßergebnisse am Versuchsträger Nr. 2

Außenlufttemperatur: 20°C

Alle Temperaturangaben in °C

Versuchsdauer in Min.	Mittlere Temperatur in der Brandkammer	Temperatur am Versuchsträger				
		M e ß s t e l l e				Mittel
		1	2	3	4	
0	-	-	-	-	-	-
5	430	-	-	-	-	-
10	620	54	47	62	55	54
15	705	97	97	100	97	98
20	760	96	96	100	96	97
25	795	96	95	101	97	97
30	835	95	94	110	99	100
40	885	123	100	172	141	134
50	990	216	141	290	254	223
60	1025	382	206	418	394	350
65	995	439	240	474	440	398
nach der 65. Minute: Versuch abgebrochen						

Zahlentafel 6

Meßergebnisse am Versuchsträger Nr. 3

Außenlufttemperatur: 21°C

Alle Temperaturangaben in °C

Versuchsdauer in Min.	Mittlere Temperatur in der Brandkammer	Temperatur am Versuchsträger				
		M e ß s t e l l e				Mittel
		1	2	3	4	
0	-	-	-	-	-	-
5	405	-	28	-	-	23
10	625	39	52	42	47	45
15	750	76	78	79	84	79
20	755	92	93	93	93	93
25	772	93	93	93	93	93
30	935	93	94	94	101	96
40	980	130	114	125	165	134
50	925	216	167	203	265	215
60	1012	296	223	281	351	288
70	1070	396	282	359	434	361
75	1110	402	312	396	475	398
nach der 75. Minute: Versuch abgebrochen						

Zahlentafel 7

Meßergebnisse am Versuchsträger Nr. 4
Außenlufttemperatur 19°C
Alle Temperaturangaben in °C

Versuchsdauer in Min.	Mittlere Temperatur in der Brandkammer	Temperatur am Versuchsträger				
		M e ß s t e l l e				Mittel
		1	2	3	4	
0	-	-	-	-	-	-
5	452	32	30	31	30	31
10	661	60	45	49	64	54
15	748	97	84	92	95	92
20	804	97	97	97	97	97
25	845	95	98	97	96	97
30	892	97	98	97	97	97
40	940	97	97	97	97	97
50	980	97	98	97	97	97
60	1005	117	98	105	105	106
70	1012	134	107	144	161	138
80	1010	188	127	197	230	185
90	1042	261	164	267	305	250
nach der 90. Minute: Versuch abgebrochen						

Zahlentafel 8

Meßergebnisse am Versuchsträger Nr. 5
Außenlufttemperatur 15°C
Alle Temperaturangaben in °C

Versuchsdauer in Min.	Mittlere Temperatur in der Brandkammer	Temperatur am Versuchsträger				
		M e ß s t e l l e				Mittel
		1	2	3	4	
0	-	-	-	-	-	-
5	528	20	20	26	22	22
10	738	54	58	69	60	60
15	797	89	89	95	91	91
20	758	97	95	97	92	95
25	758	98	96	112	96	100
30	817	97	97	125	99	104
40	961	106	107	165	125	126
50	1026	144	119	229	169	165
60	871	201	151	289	232	218
70	1050	247	179	345	291	266
80	1029	294	206	401	334	309
90	1047	342	245	455	390	358
nach der 90. Minute: Versuch abgebrochen						

*) Mittel aus 6 Meßstellen

5. Auswertung der Meßergebnisse

5.1 Allgemeines

Die Wirkung einer Feuerschutzisolierung hängt hauptsächlich von dem verwendeten Isolierstoff, der Dicke der Isolierung, dem Raumgewicht und dem Feuchtigkeitsgehalt der Isolierung ab. Bei den Versuchsträgern Nr. 1 bis 3 (Träger mit einer Ummantelung aus Gips-Sand-Mörtel) stimmten diese 4 Eigenschaften fast genau überein. Es kann daher angenommen werden, daß der Unterschied in der Schnelligkeit der Erwärmung bei diesen Trägern, auf die verschiedenen geometrischen Abmessungen der Träger zurückzuführen ist.

Bei den Trägern 4 und 5 war der Isolierstoff, das Raumgewicht und die Dicke der Isolierung gleich. Der Feuchtigkeitsgehalt des Trägers Nr. 4 war jedoch höher als der des Trägers Nr. 5. Der höhere Feuchtigkeitsgehalt der Ummantelung wirkte sich stark verzögernd auf die Erwärmung des Trägers aus. Trotzdem gestatten auch die Ergebnisse der Versuche an diesen beiden Trägern Schlüsse auf den Einfluß der Querschnittsabmessungen der ummantelten Träger auf die Erwärmungsgeschwindigkeit zu ziehen. Jedoch darf in diesem Fall nicht die ganze Dauer des Versuches berücksichtigt werden, sondern nur der zweite Versuchsabschnitt von dem Augenblick ab, wo alles Wasser der Ummantelung verdampft ist und die Erwärmungskurve einen deutlichen Knick macht.

Bei allen Brandversuchen wurden die Temperaturen in der Brandkammer nach der Einheitstemperaturkurve DIN 4102 Blatt 3 gesteigert.

Da bei allen Versuchsträgern die Temperaturmeßstellen an den gleichen Stellen angebracht waren, kann sich die Auswertung auf die mittlere Temperaturerhöhung der Messungen an jedem Träger beschränken.

5.2 Temperaturerhöhung an den Versuchsträgern

Aus Zahlentafel 9 sind die Zeiten vom Versuchsbeginn, bis zu dem Augenblick, in dem die mittlere Stahltemperatur 250°C überschritt, zu ersehen. 250°C ist nach DIN 4102 die für ummantelte Stahlträger höchste zulässige Erwärmungstemperatur.

Außerdem sind in Zahlentafel 9 die mittleren Temperaturanstiege / Zeiteinheit zusammengestellt. In Abb. 2 ist die Erwärmung der Träger graphisch dargestellt.

Zahlentafel 9
Erwärmungsgeschwindigkeit
der Versuchsträger

Versuchs- träger Nr.	Profil	Querschnitt in ₂ cm ²	Zeit bis zum Erreichen einer mittl. Stahltemp. von 250°C	Temperatur- anstieg pro Zeiteinheit °C/min *)
1	I 14	18,3	42 Minuten	11,5
2	I 24	46,1	52 "	9,6
3	IP 22	91,1	55 "	7,75
4	I 14	18,3	(90 Minuten)	5,8
5	I 24	46,1	66,3 "	5,0

*) ermittelt für die Temperaturerhöhung am Träger zwischen 150° und 250°C.

Aus Zahlentafel 9 ist zu entnehmen, daß sich bei der Versuchsreihe I (Träger Nr. 1 bis 3) die Träger I 24 und IP 22 viel langsamer erwärmten als die Träger I 14.

Auch bei der Versuchsreihe II (Träger Nr. 4 und 5) verlief die Temperaturerhöhung von dem Augenblick an, wo der Feuchtigkeitsgehalt der Ummantelung verdampft war, am Träger I 14 schneller als an dem Träger I 24.

Die unterschiedlichen Erwärmungsgeschwindigkeiten der Träger lassen sich folgendermaßen erklären:

Um den Stahlträger um 1°C zu erwärmen, ist folgende Wärmemenge erforderlich:

$$W = M \cdot \alpha \quad (1)$$

W = Wärmemenge

M = Masse des Trägers

α = spezifische Wärme des Stahls

Wird der Träger nicht nur um 1°C sondern um die Temperaturdifferenz von ΔT °C erwärmt, so wird dazu die Wärmemenge

$$W = M \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{benötigt} \quad (2).$$

Durch Umformung der Gleichung 2 ergibt sich die Temperaturerhöhung eines Trägers als Funktion der zugeführten Wärmemenge und der Masse des Trägers

$$\Delta T = \frac{W}{M \cdot \alpha} \quad (3)$$

Die Temperaturerhöhung pro Zeiteinheit t ergibt sich dann wie folgt aus Gleichung (3)

$$\frac{\Delta T}{t} = \frac{W}{M \cdot \alpha \cdot t} \quad (4)$$

Nun ist die Masse eines Profilträgers proportional seinem Querschnitt F . Unter der Annahme, daß die vom Träger aufgenommene Wärmemenge eine Funktion der Oberfläche, d.h. des Umfanges U der Ummantelung des Trägers ist, kann Gleichung (4) in folgender Form geschrieben werden:

$$\frac{\Delta T}{t} = \left(\frac{U}{F} \right) \quad (5)$$

Gleichung 5 sagt aus, daß die Temperaturerhöhung des Trägers während des Brandversuches eine Funktion des Quotienten aus Ummantelungsumfang und Trägerquerschnitt ist.

In Zahlentafel 10 sind die Werte $\frac{U}{F}$ für die einzelnen Versuchsträger zusammengestellt und in Abb. 3 als Funktion der Temperaturerhöhung / Zeiteinheit (vergl. Zahlentafel 9) graphisch aufgetragen.

Zahlentafel 10

Umfang und Querschnitt der ummantelten Versuchsträger

Versuchsträger Nr.	Profil	Profil Quer- schnitt $F \text{ (cm}^2\text{)}$	Äußere Abmessungen der Ummantelung in cm			$\frac{U}{F} \left(\frac{1}{\text{cm}} \right)$
			Breite b	Höhe h	Umfang u	
1	I 14	18,3	11,5	19,0	61	3,34
2	I 24	46,1	15,5	29,0	89	1,93
3	IP 22	91,1	27,0	27,0	108	1,19
4	I 14	18,3	13,5	21,0	69	3,77
5	I 24	46,1	17,5	31,0	97	2,1

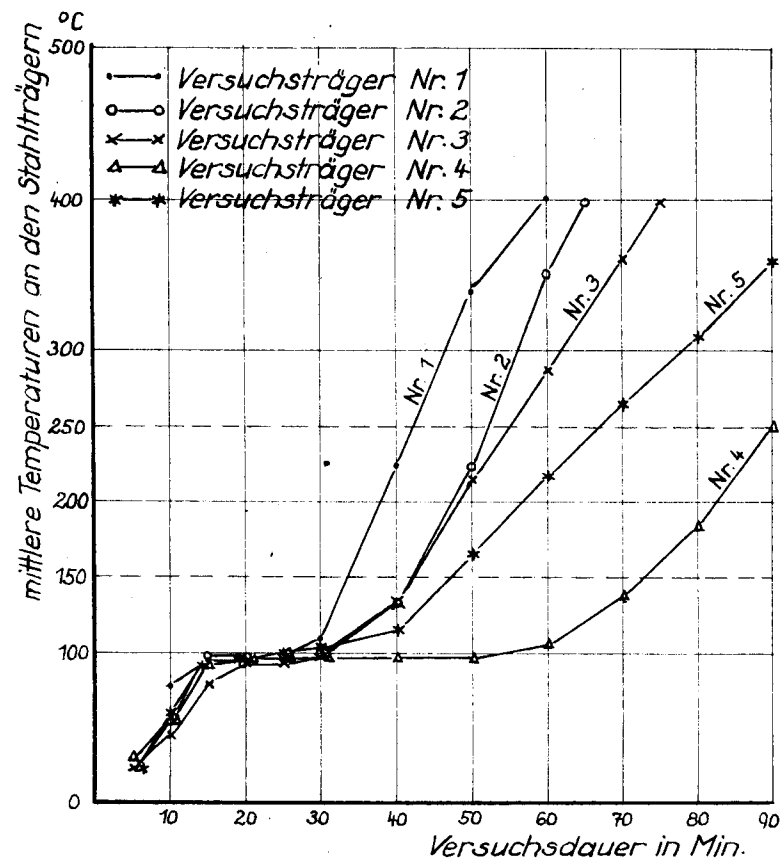


Abb. 2 Mittlere Erwärmung der Versuchsträger in Abhängigkeit von der Versuchsdauer

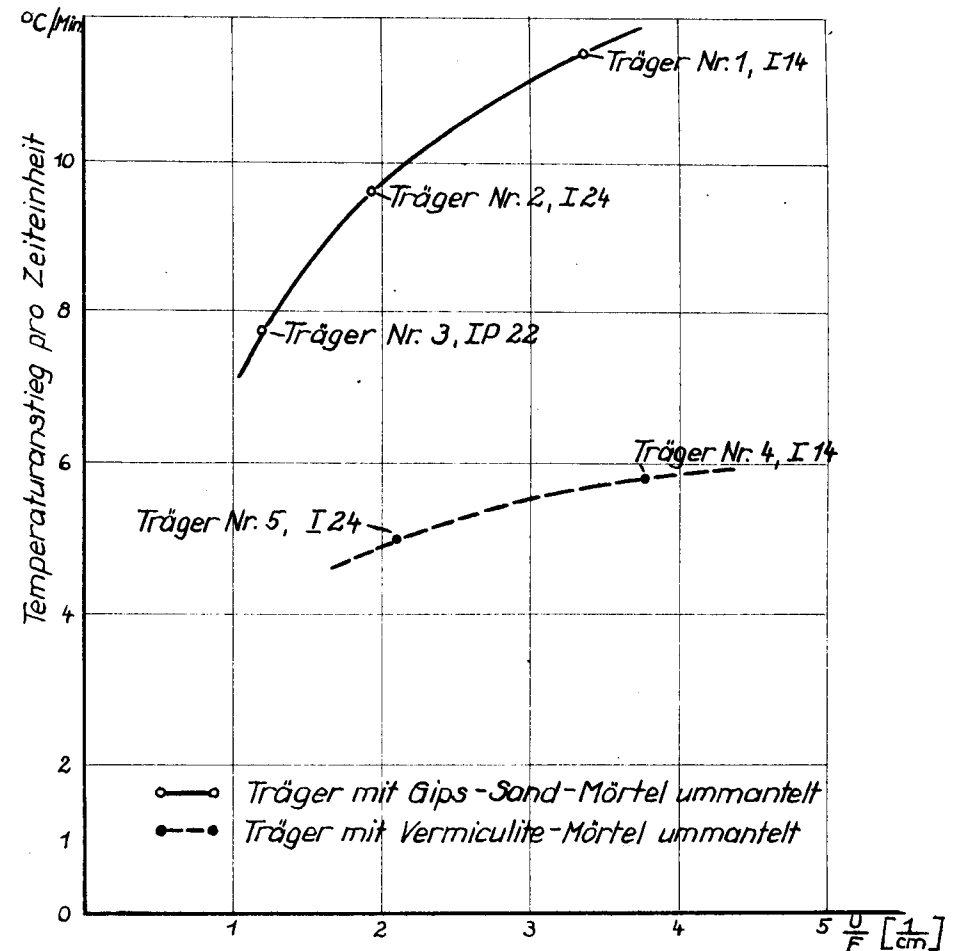


Abb. 3 Temperaturerhöhung an den ummantelten Stahlträgern in Abhängigkeit des Quotienten aus Umfang U und Querschnitt F

Aus Abbildung 3 ist zu entnehmen, daß die Erwärmung pro Zeiteinheit bei den kleinen Trägern geringen Querschnitts schneller vor sich geht. Wenn die vorliegende geringe Anzahl von Versuchen auch noch keine allgemeingünstigen Aussagen gestatten, dazu wären noch mehrere Untersuchungen z.B. auch mit anderen Träger-Querschnitten wie Hohlkasten-Profilen erforderlich, können folgende Schlüsse gezogen werden:

- a) Die Erwärmung ummantelter Stahlträger beim Brandversuch ist von den Querschnittsabmessungen der Träger abhängig. Kleinere Profile werden schneller erwärmt. Daher wird im Ernstfall eines Brandes auch das Versagen bei kleinen Profilen schneller eintreten.
- b) Da es dem Grundsatz der Materialprüfung entspricht, möglichst den ungünstigsten Fall der Prüfung zu unterziehen, sind daher in Zukunft bei der Auswahl der Versuchsproben Träger möglichst kleinerer Querschnitts-Abmessungen zu prüfen.
- c) Auch dürfen Versuchsergebnisse, die in Brandversuchen an größeren Trägern gewonnen wurden nicht ohne weiteres auf Träger geringerer Abmessungen übertragen werden. Bei kleineren Trägern muß die Isolierung dicker ausgebildet werden.

6. Zusammenfassung

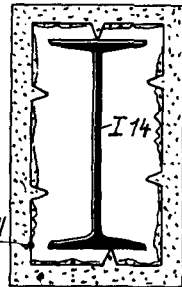
Nach DIN 4102 dürfen ummantelte Träger aus Stahl während des Brandversuches nicht wärmer als 250°C werden. Es sollte nun durch Versuche geklärt werden, ob bei Brandversuchen an Stahlträgern neben der Art und der Dicke des Isolierstoffes auch die Querschnittsabmessungen der Träger von Einfluß auf die Erwärmung der Stahlträger sind. Zu diesem Zweck wurden fünf ummantelte Stahlträger verschiedener Profile in zwei Versuchsreihen Brandversuchen unterzogen. Die Träger der Versuchsreihe 1 (I 14; I 24; IP 22) wurden mit einem 1,5 cm dicken Gipsputz, die Träger der Versuchsreihe 2 (I 14; I 24) mit einem 2,5 cm dicken Vermiculite-Putz ummantelt.

Bei allen Brandversuchen wurden die Temperaturen nach der Einheitstemperaturkurve DIN 4102 Blatt 3 in der Brandkammer eingehalten.

Die Versuche ergaben, daß die Temperaturerhöhung pro Zeiteinheit an den Trägern von den Querschnittsabmessungen der Träger abhängig ist; je kleiner das Trägerprofil desto schneller erfolgt die Durchwärmung des Trägers.

Bei Brandversuchen sind daher von den in Frage kommenden Profilen immer die mit dem geringsten Querschnitt auszuwählen, um den feuertekhnisch ungünstigsten Fall zu erfassen. Von großem Interesse würde es sein, Versuche durchzuführen, um festzustellen, wie die Dicke einer Isolierung je nach dem Trägerprofil zur Erzeugung einer gleichen Durchwärmung zu- oder abnehmen muß.

Versuchsträger
1

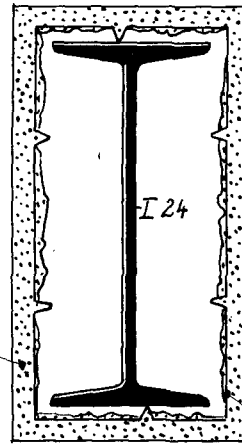


Rippen-
streckmetall

Putzdicke 1,5 cm
über Putzträger

M. 1:5

Versuchsträger
2

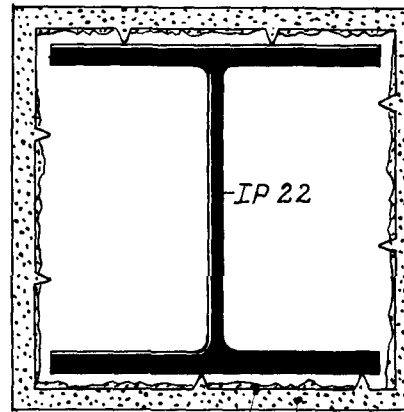


I 24

Rippenstreckmetall

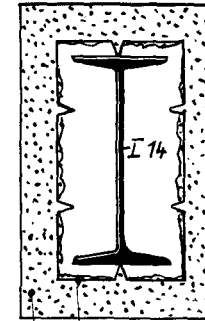
Putzdicke 1,5 cm
über Putzträger

Versuchsträger
3



IP 22

Versuchsträger
4

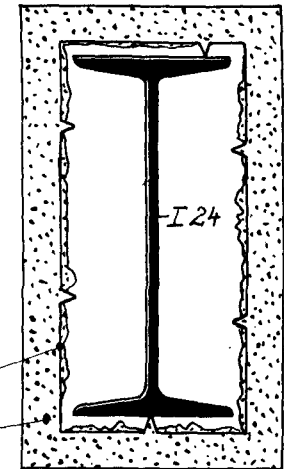


I 14

Rippenstreckmetall

Putzdicke 2,5 cm
über Putzträger

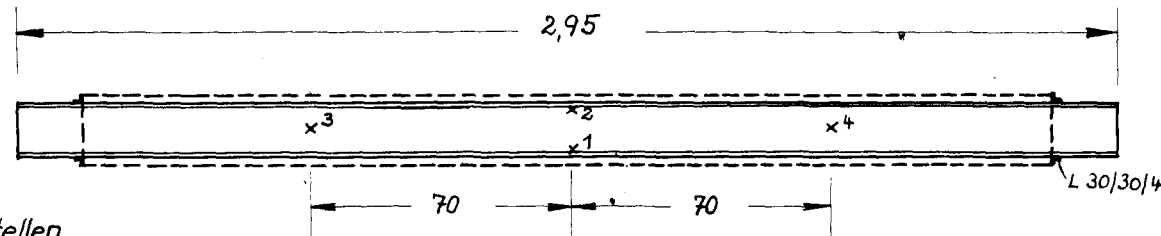
Versuchsträger
5



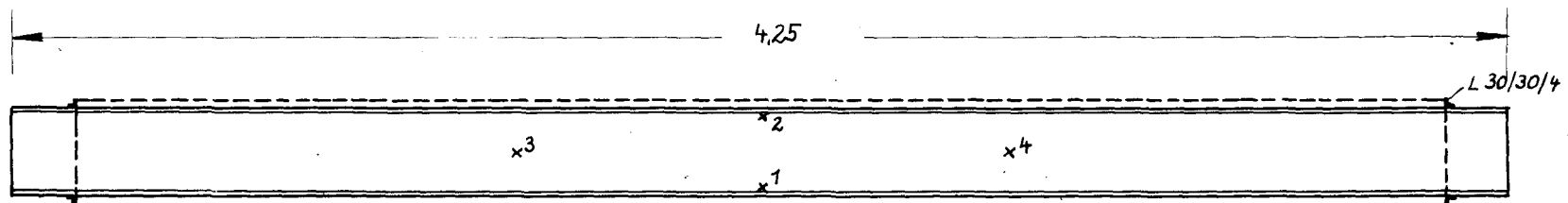
I 24

M. 1:20

x¹ bis x⁴ = Temperaturmeßstellen



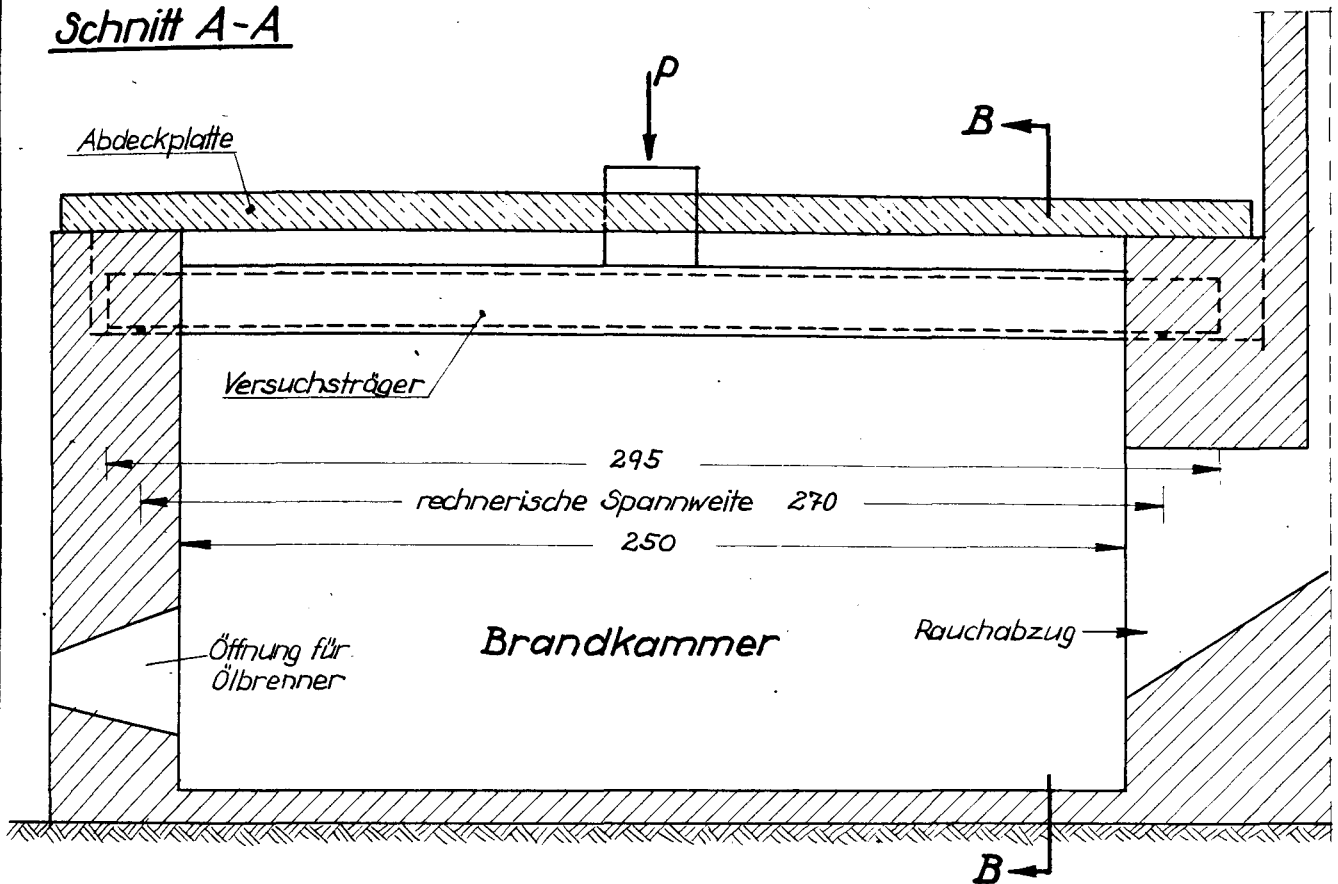
I 14 Träger Nr. 1 u. 4



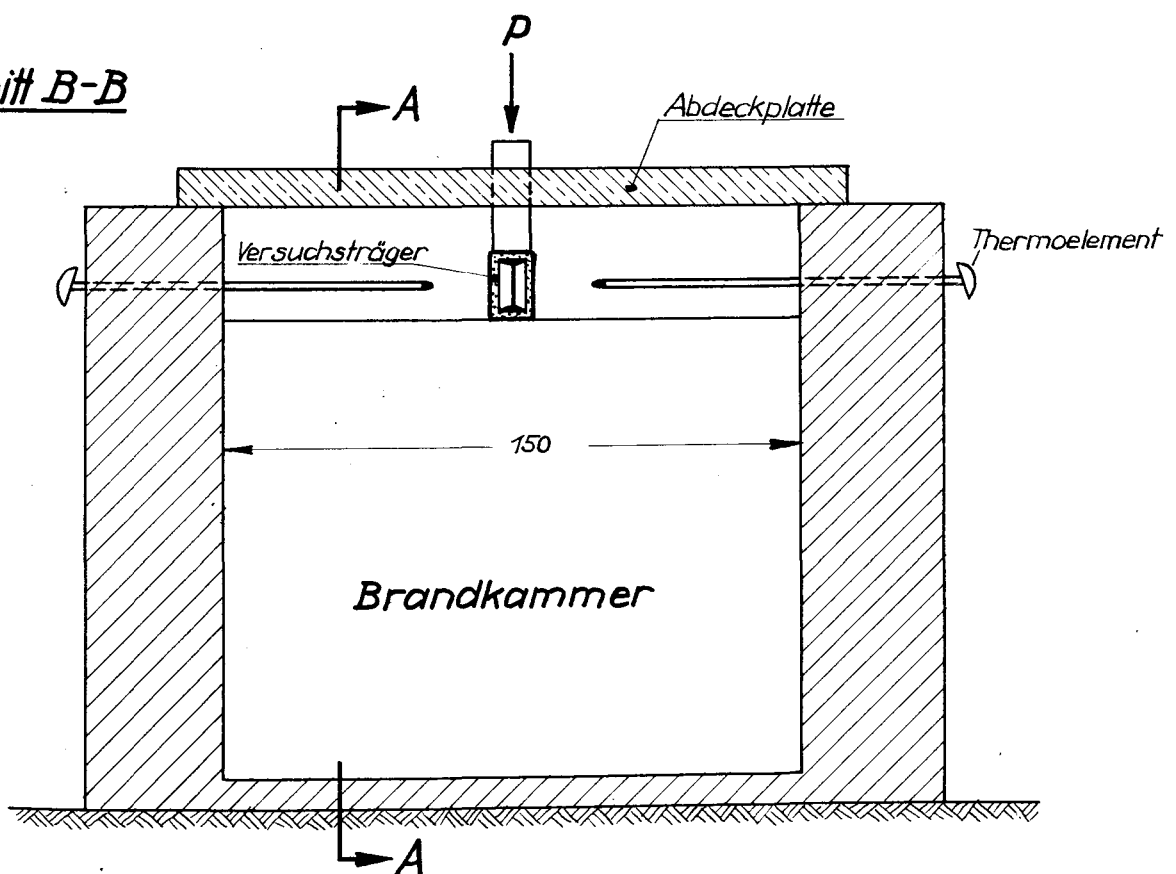
I 24 Träger Nr. 2 u. 5

Versuchsanordnung

Schnitt A-A



Schnitt B-B



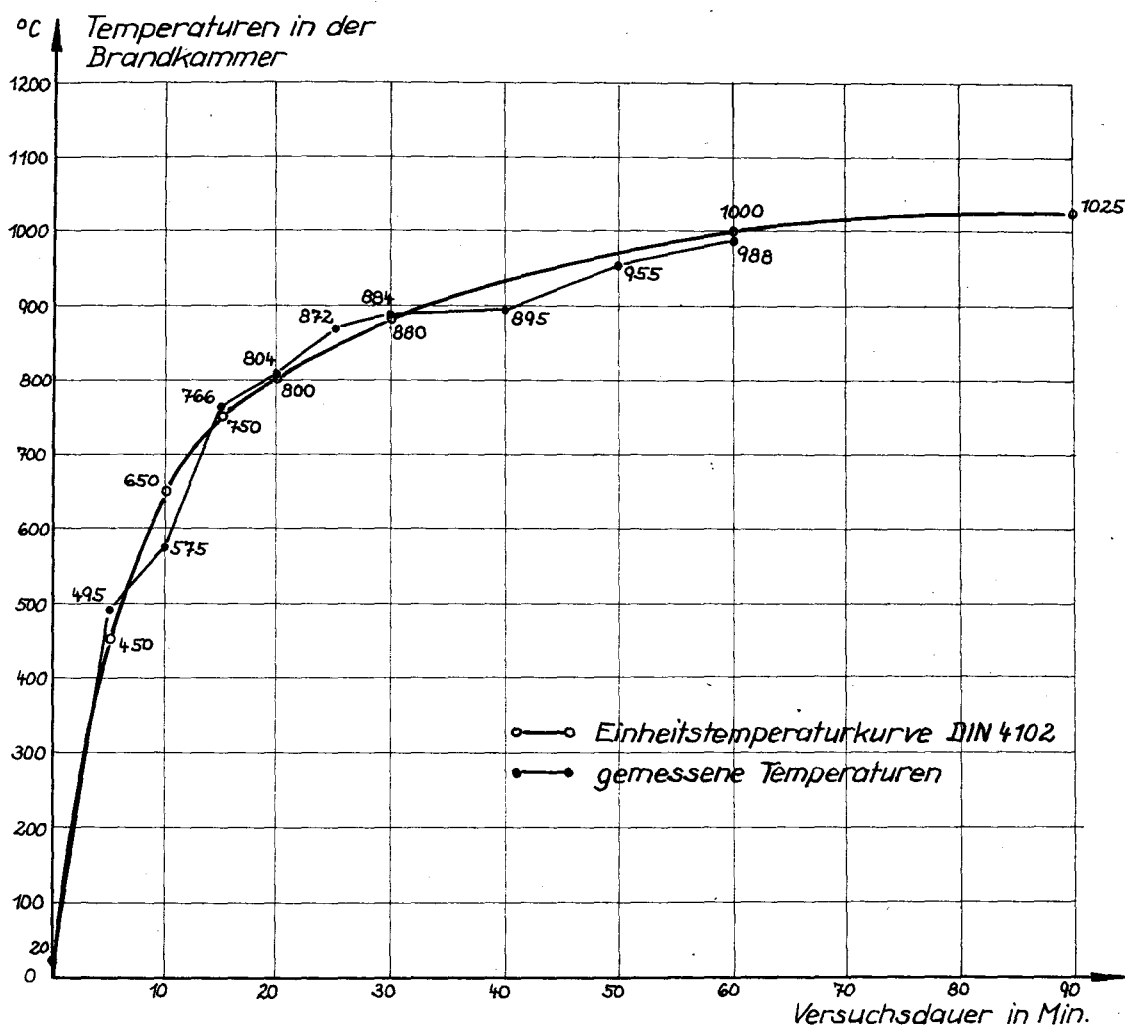
Maße in cm

M. 1:20

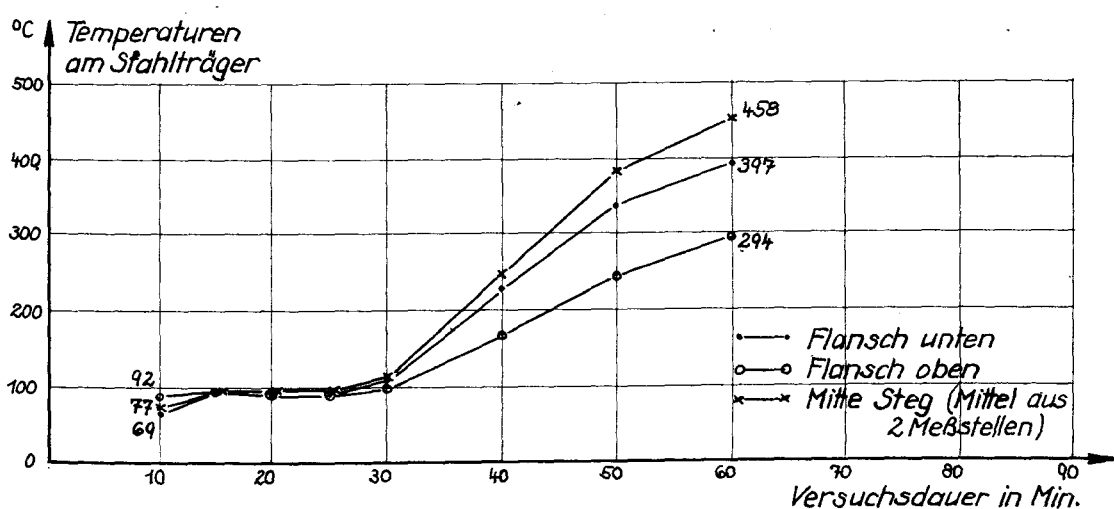
Institut
für Baustoffkunde
und Materialprüfung
T. H. Braunschweig

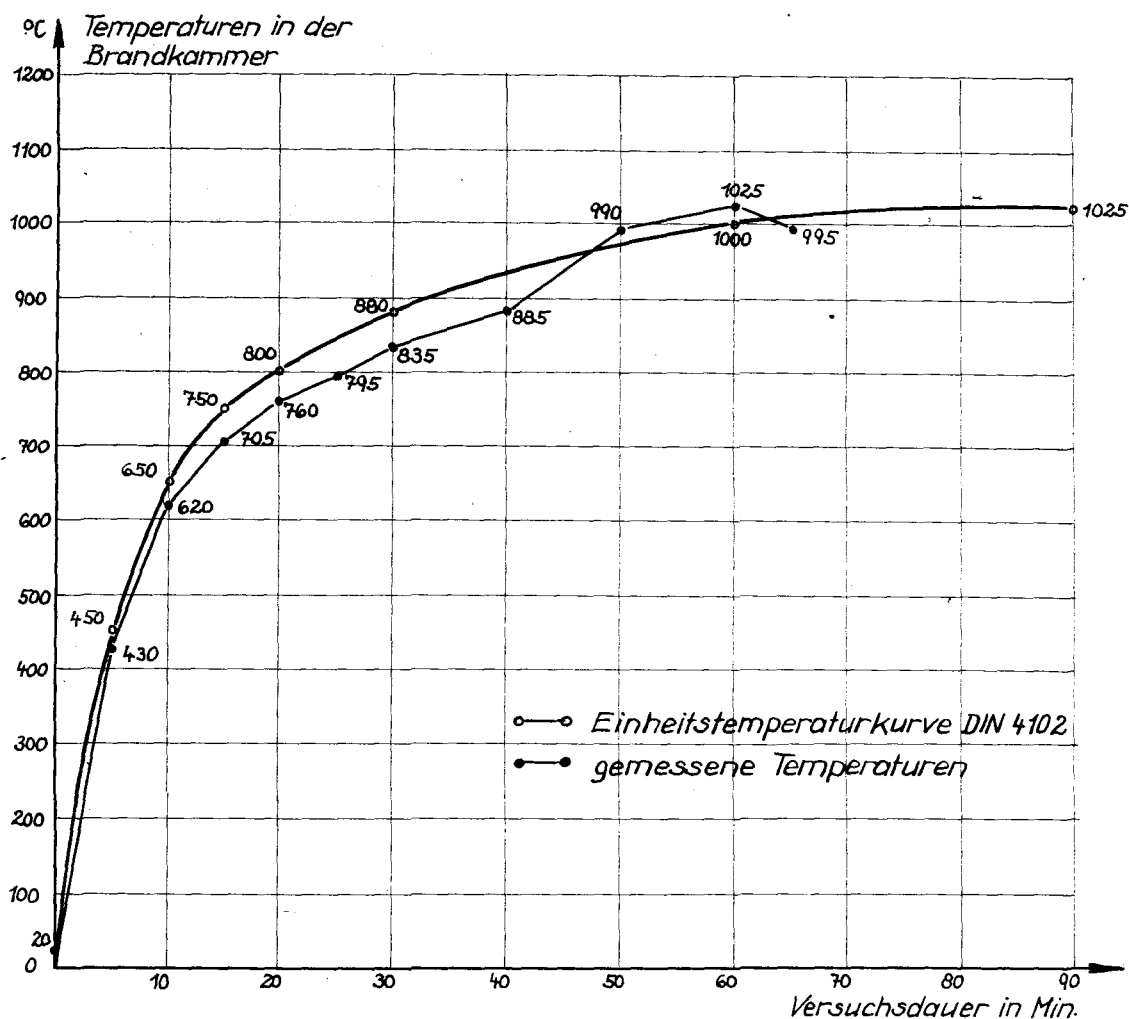
**Brandversuche an
ummantelten Stahlträgern**

Anlage 2 zum
Forschungsauftrag
Nr. II/3-4102 Nr. 9/1/56

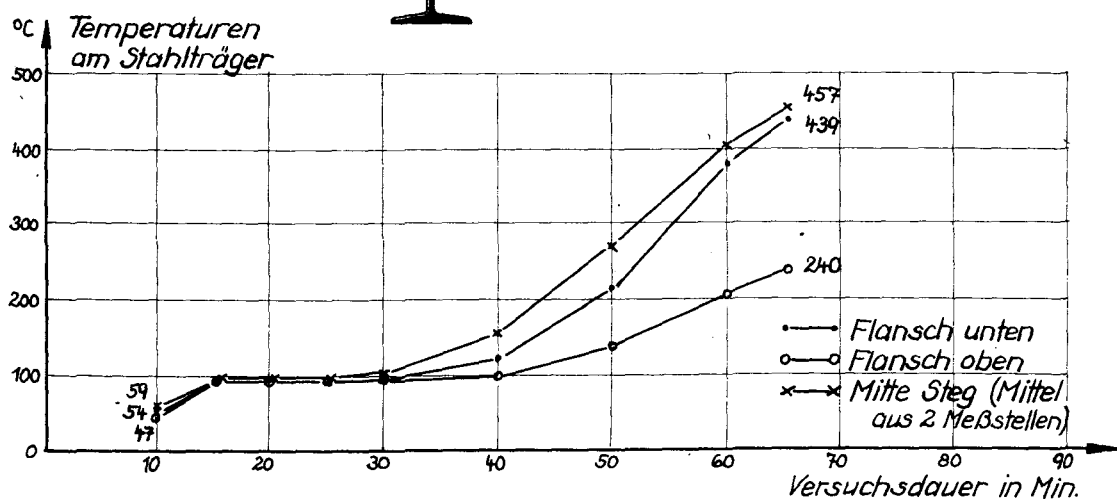


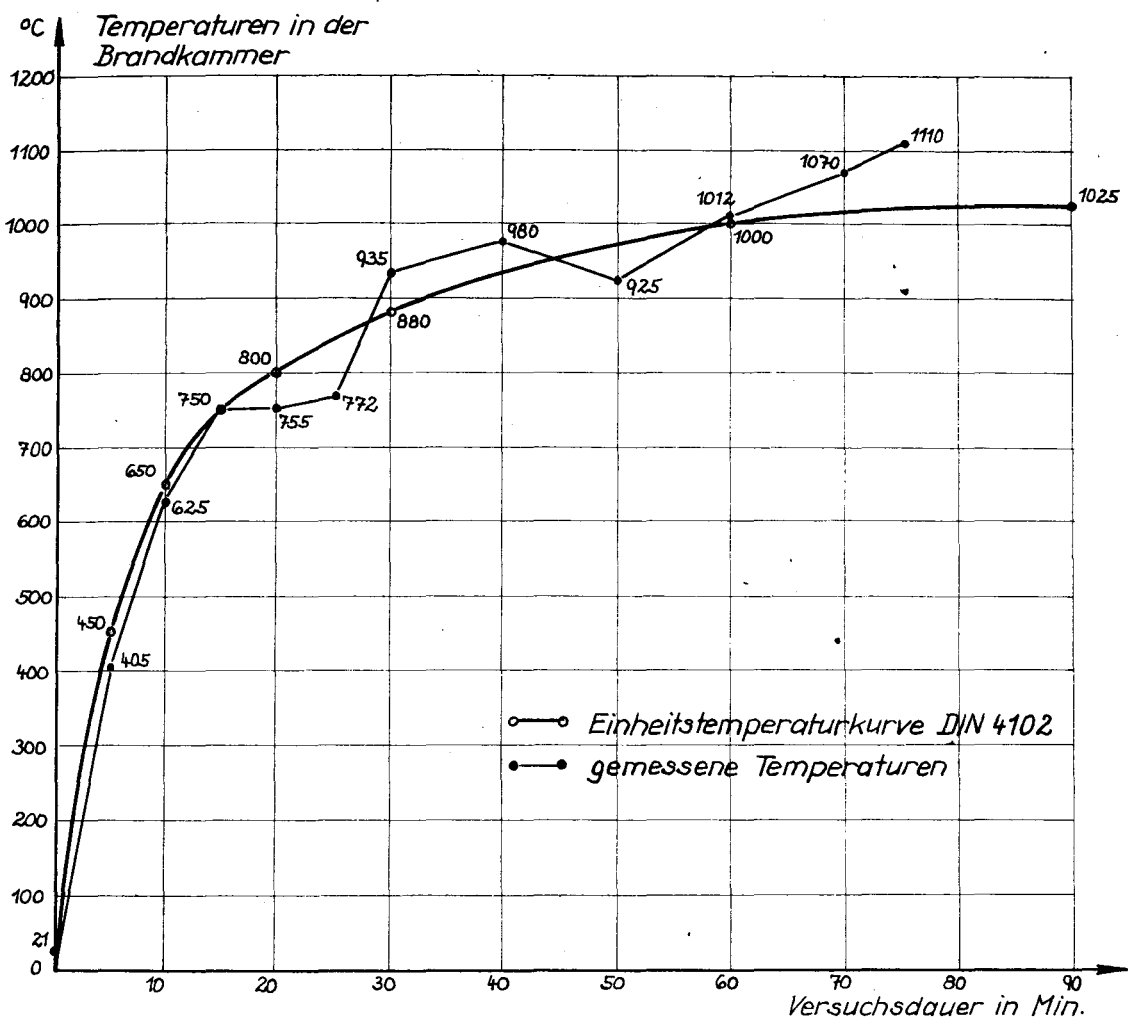
I 14 mit Ummantelung aus
1,5 cm dickem Gips-Sand-Platz



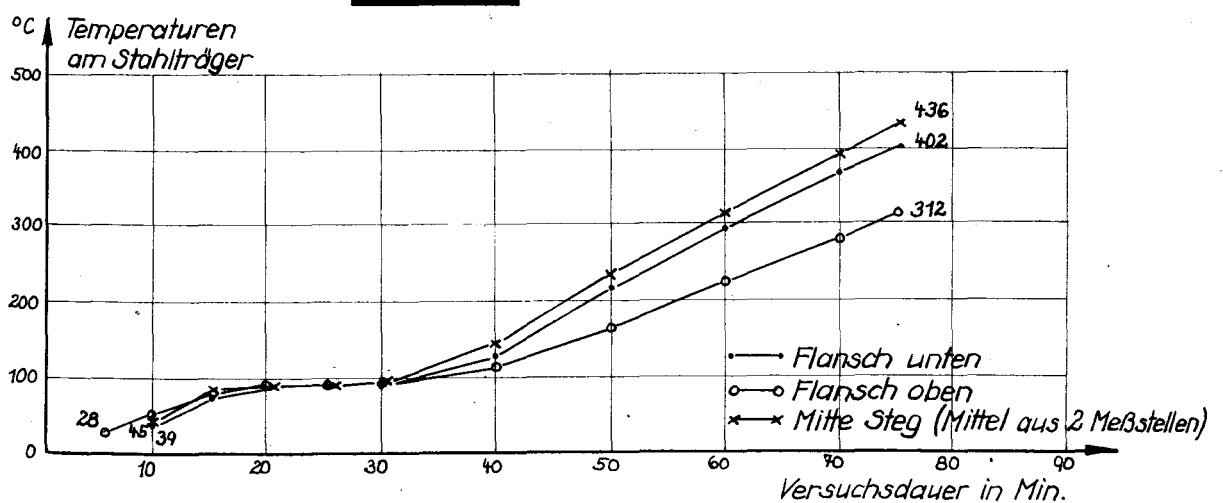


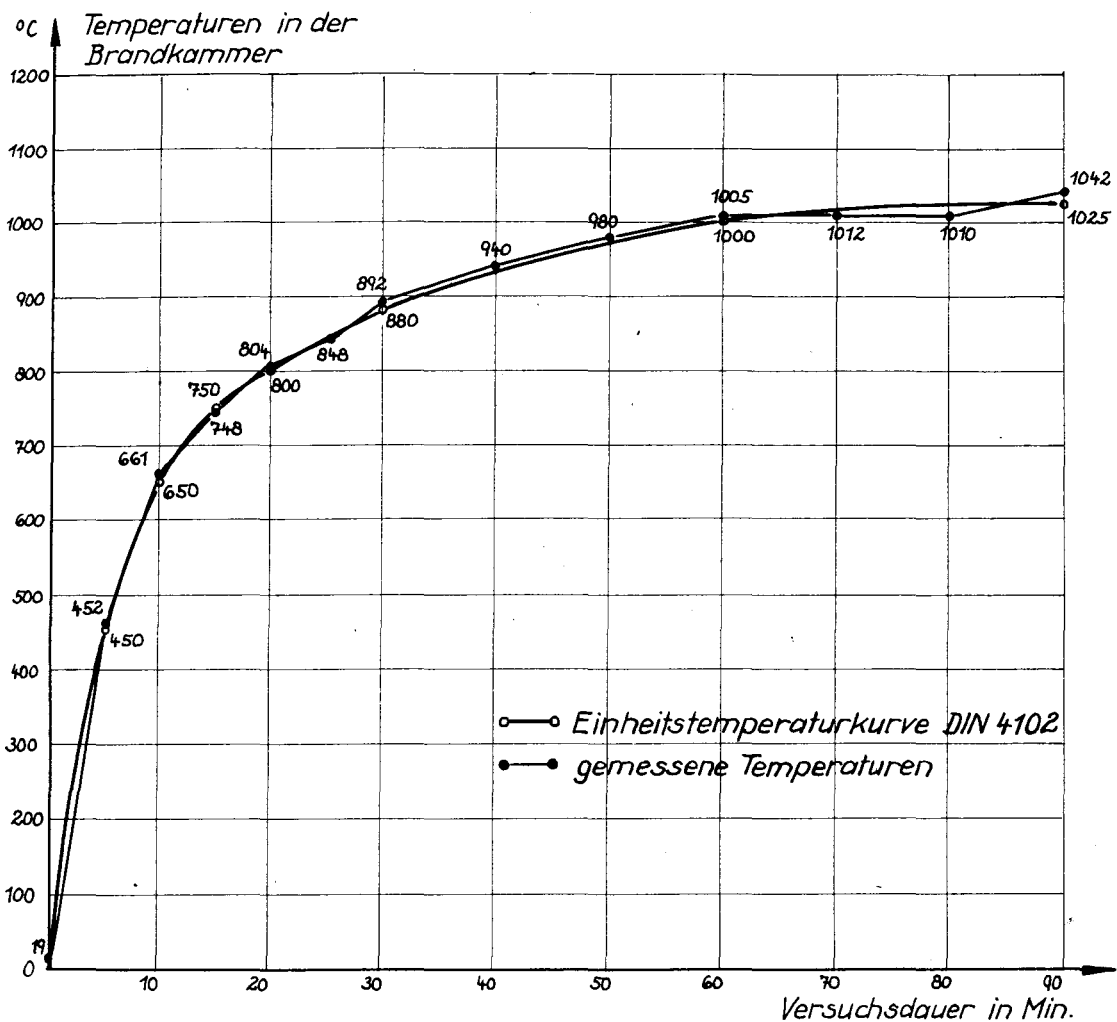
I 24 mit Ummantelung aus
1,5 cm dickem Gips - Sand - Putz



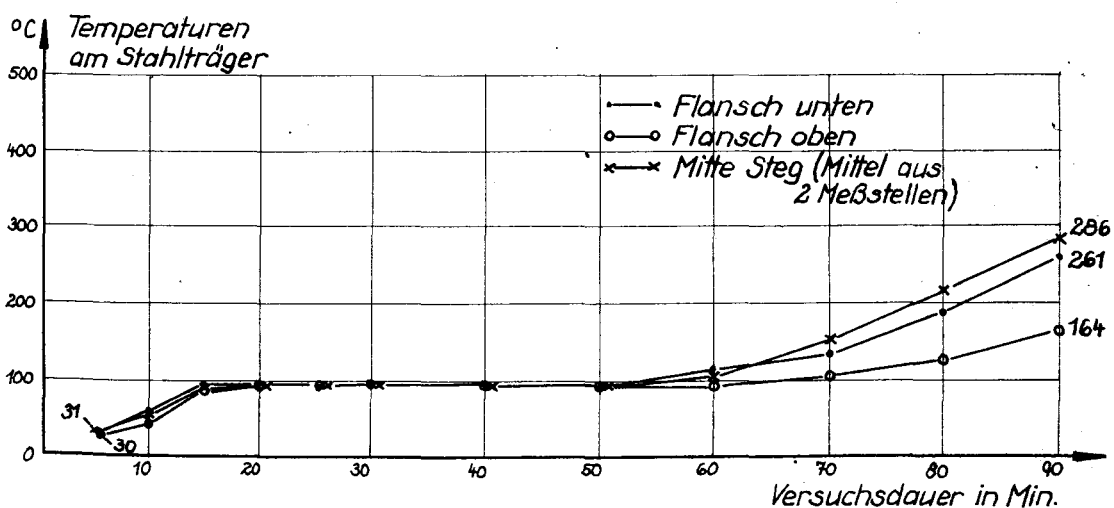


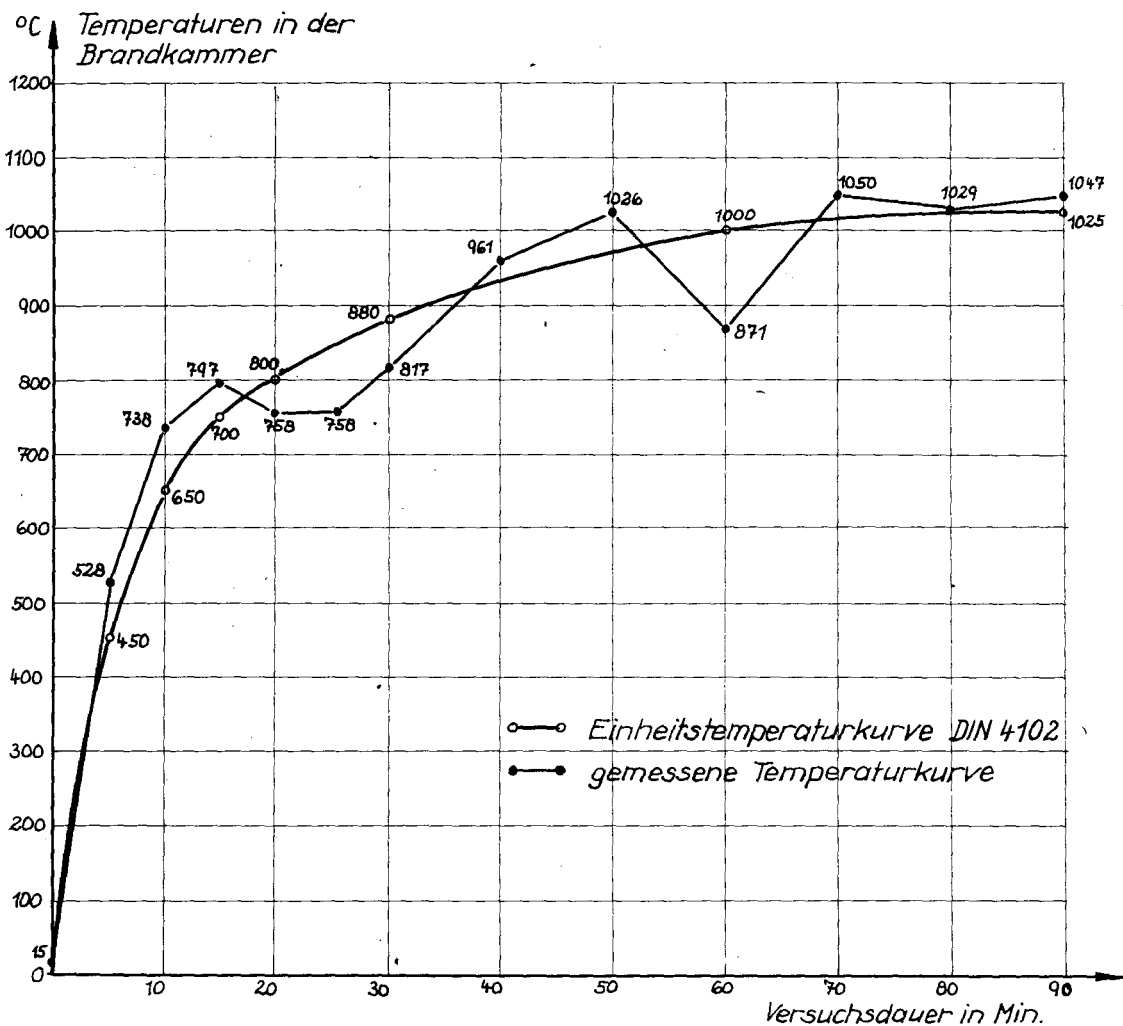
IP 22 mit Ummantelung aus
1,5 cm dickem Gips-Sand-Putz





I 14 mit Ummantelung aus
2,5 cm dickem Vermiculite-Putz





I 24 mit Ummantelung aus 2,5 cm dickem Vermiculite - Putz

